

(19)日本国特許庁 (J P)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-216674

(P 2 0 0 1 - 2 1 6 6 7 4 A)

(43)公開日 平成13年 8月10日(2001.8.10)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-コ-ト* (参考)
G11B 7/135		G11B 7/135	A
G02B 13/00		G02B 13/00	

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全12頁)

(21)出願番号 特願2000-354965(P 2000-354965)  
(22)出願日 平成12年11月21日(2000.11.21)  
(31)優先権主張番号 特願平11-331951  
(32)優先日 平成11年11月22日(1999.11.22)  
(33)優先権主張国 日本 (J P)

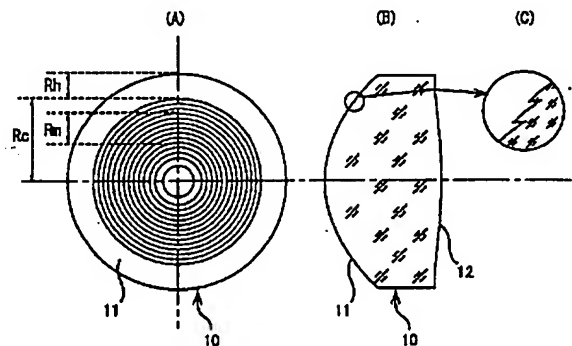
(71)出願人 000000527  
旭光学工業株式会社  
東京都板橋区前野町2丁目36番9号  
(72)発明者 丸山 晃一  
東京都板橋区前野町2丁目36番9号, 旭光  
学工業株式会社内  
(74)代理人 100098235  
弁理士 金井 英幸

(54)【発明の名称】光ヘッド用対物レンズ

(57)【要約】

【課題】 一つの対物レンズでDVDとCD-Rのような保護層の厚さが異なる複数種類の光情報記録媒体の記録再生を可能とする光利用効率の高い光ヘッド用対物レンズを提供することを課題とする。

【解決手段】 対物レンズ10は、両面が非球面である樹脂製単レンズであり、一方のレンズ面11に光軸を中心とした輪帯状のパターンとして回折レンズ構造が形成されている。回折レンズ構造は、少なくとも2つの異なる波長の光束による同一次数の回折光が、保護層の厚さが異なる少なくとも2種類の光ディスクに対し、それぞれ良好な波面を形成するよう波長依存性を有しており、少なくとも半径方向の中間領域R<sub>m</sub>においては、所定のパワーを有するよう設定されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 正のパワーを有する屈折レンズと、該屈折レンズの少なくとも一方のレンズ面に形成された微細な段差を有する複数の輪帯から成る回折レンズ構造とを有し、前記回折レンズ構造は、少なくとも 2 つの異なる波長の光束による同一次数の回折光が、保護層の厚さが異なる少なくとも 2 種類の光ディスクに対し、それぞれ良好な波面を形成するよう波長依存性を有し、前記回折レンズ構造は、少なくとも半径方向の中間領域においては、所定のパワーを有することを特徴とする光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 2】 前記屈折レンズには、記録密度の低い光ディスクに必要十分な低 NA の光束が透過する共用領域と、この共用領域の周囲に位置し、記録密度の高い光ディスクに対してのみ必要な高 NA の光束が透過する高 NA 専用領域を有し、前記中間領域は、前記共用領域に含まれることを特徴とする請求項 1 に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 3】 前記回折レンズ構造は、前記共用領域の全域において所定のパワーを有することを特徴とする請求項 2 に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 4】 前記中間領域は、NA0.20~0.38 の光束が透過する領域であることを特徴とする請求項 1 に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 5】 前記回折レンズ構造は、前記中間領域の外側に無パワーの領域を有することを特徴とする請求項 1 に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 6】 前記回折レンズ構造の前記各輪帯間における光軸方向の段差面は、全てレンズの中心側若しくは周辺側のいずれか一方に向けられていることを特徴とする請求項 5 に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 7】 正のパワーを有する屈折レンズと、該屈折レンズの少なくとも一方のレンズ面に形成された輪帯状の微細な段差を有する回折レンズ構造とを有し、前記回折レンズ構造は、少なくとも 2 つの異なる波長の光束による同一次数の回折光が、保護層の厚さが異なる少なくとも 2 種類の光ディスクに対し、それぞれ良好な波面を形成するよう波長依存性を有し、前記回折レンズ構造による光路長の付加量を、光軸からの高さ  $h$ 、 $n$  次(偶数次)の光路差関数係数  $P_i$ 、回折次数  $m$ 、波長  $\lambda$  を用いて、
$$\phi(h) = (P_1 h^1 + P_2 h^2 + P_3 h^3 + \dots) \times m \times \lambda$$
 により定義される光路差関数  $\phi(h)$  により表したとき、該光路差関数  $\phi(h)$  の値が、少なくとも半径方向の中間領域においては、単調に変化することを特徴とする光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 8】 前記屈折レンズには、記録密度の低い光ディスクに必要十分な低 NA の光束が透過する共用領域と、この共用領域の周囲に位置し、記録密度の高い光ディスクに対してのみ必要な高 NA の光束が透過する高 NA 専

用領域を有し、前記中間領域は、前記共用領域に含まれることを特徴とする請求項 7 に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 9】 前記光路差関数  $\phi(h)$  の値は、共用領域の全域において単調に変化することを特徴とする請求項 8 に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 10】 前記中間領域は、NA0.20~0.38 の光束が透過する領域であることを特徴とする請求項 7 に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 11】 前記回折レンズ構造は、前記中間領域の外側に前記光路差関数  $\phi(h)$  が極値をとる領域を有することを特徴とする請求項 7 に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 12】 前記回折レンズ構造は、入射光の波長が長波長側に变化した際に、球面収差が補正不足となる方向に変化する球面収差特性を有することを特徴とする請求項 7 に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 13】 前記回折レンズ構造は、前記保護層の厚い光ディスクに対応する波長で NA0.45 相当の光線が前記回折レンズ構造の存在する面を通過する高さを  $h_u$  として、

$$P_1 \times (h_u)^1 \times m < 3 \quad \dots(1)$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項 12 に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 14】 前記回折レンズ構造は、
$$\phi(h_u)/\lambda < -7 \quad \dots(2)$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項 13 に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 15】 前記回折レンズ構造は、前記保護層の厚い光ディスクに対応する波長で NA0.45 相当の光線が前記回折レンズ構造の存在する面を通過する高さを  $h_u$  として、

$$P_1 \times (h_u)^1 \times m > 8 \quad \dots(3)$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項 12 に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 16】 前記回折レンズ構造は、
$$\phi(h_u)/\lambda > 8 \quad \dots(4)$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項 16 に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 17】 前記回折レンズ構造は、半径方向の全域において、

$$\phi(h) < 0.5 \lambda \quad \dots(5)$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項 13 に記載の光ヘッド用対物レンズ。

【請求項 18】 正のパワーを有する屈折レンズと、該屈折レンズの少なくとも一方のレンズ面に形成された輪帯状の微細な段差を有する回折レンズ構造とを有し、前記回折レンズ構造は、少なくとも 2 つの異なる波長の光束による同一次数の回折光が、保護層の厚さが異なる少なくとも 2 種類の光ディスクに対し、それぞれ良好な波

面を形成するような波長依存性を有し、前記回折レンズ構造の前記各輪帯間における光軸方向の段差面は、全てレンズの中心側若しくは周辺側のいずれか一方に向けられていることを特徴とする光ヘッド用対物レンズ。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、保護層の厚さが異なる複数種類の光ディスクに対する記録／再生が可能な光ヘッドに使用される高NA(開口数)の対物レンズに関し、特に屈折レンズのレンズ面に回折レンズ構造が形成された対物レンズに関する。

##### 【0002】

【従来の技術】光ディスクには、保護層の厚さが異なる複数の規格が存在する。例えば、CD(コンパクトディスク)、CD-Rの保護層の厚さは1.2mmであるのに対し、DVD(デジタルバーサタイルディスク)の保護層の厚さは0.60mmである。そこで、規格が異なる光ディスクの切り替え時には、集光位置を光軸方向に移動させる必要がある。

【0003】対物レンズを光軸方向に移動させれば、近軸的な集光位置を移動させることはできるが、保護層の厚さが変化すると球面収差が変化するため、単に対物レンズを移動させるのみではレーザー光の波面が乱れ、スポットを必要な径に収束させることができず、情報の記録／再生が不可能となる。例えば、DVDの使用時に球面収差が補正されるよう設計された対物レンズをCDの再生に利用すると、対物レンズを光軸方向に移動させることにより近軸的な集光位置を記録面に一致させたとしても、球面収差がオーバーになり、情報の再生は不可能となる。

【0004】そこで、保護層の厚さに応じて各光ディスクに適したレーザー光を対物レンズに入射させる光学系が、従来から知られている。たとえば、特開平7-98431号公報には、対物レンズの手前にホログラムレンズを設けて単一の半導体レーザーから発したレーザー光を0次光と1次光とに分離し、平行光である0次光を保護層の薄い光ディスク用のスポット、発散光である1次光により保護層の厚い光ディスク用のスポットを形成する技術が記載されている。上記の公報の光学系によれば、ホログラムレンズを保護層の厚さに応じて最適なレーザー光が得られるよう設計することにより、球面収差の発生を抑え、それぞれの光ディスクに関して回折限界性能を有するスポットを得ることができる。

##### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、特開平7-98431号公報に記載の光学系は、レーザー光源からの光束が常に0次光と1次光とに分離され、そのいずれか一方のみを利用するため、レーザー光の利用効率は最大で40%程度にとどまる。また、一方の次数のレーザー光により情報読み出しを行うときは他の次数の光

束は読み出しには寄与しない不要光となり、ノイズを増大させる。

【0006】なお、DVDの記録密度はCDより高いため、DVDの記録／再生にはCD専用の光学系よりビームスポットを小さく絞る必要がある。スポット径は波長が短いほど小さくなるため、DVDを利用する光学系では、CD専用の光学系で用いられていた780～830nmより短い635～665nmの発振波長のレーザー光源を用いる必要がある。他方、CD-Rを利用する場合には、記録面の反射特性から780nm程度の発振波長のレーザー光源を用いる必要がある。

【0007】したがって、上記の公報に開示されるような単一の半導体レーザーにより複数種の光ディスクに対応する方式では、DVDを利用するために短波長のレーザー光源を用いると、CD-Rを利用することができないという問題点がある。

【0008】この発明は、上述した従来技術の問題点に鑑みなされたもので、一つの対物レンズでDVDとCD、CD-Rのような保護層の厚さが異なる光ディスクの記録／再生が可能で、かつ、光利用効率の高い光ヘッド用対物レンズを提供することを目的とする。

##### 【0009】

【課題を解決するための手段】この発明にかかる光ヘッド用対物レンズは、上記の目的を達成させるため、正のパワーを有する屈折レンズと、その一面に形成された輪帯状の微細な段差を有する回折レンズ構造とを有し、回折レンズ構造に、少なくとも2つの異なる波長の光束による同一次数の回折光が、保護層の厚さが異なる少なくとも2種類の光ディスクに対し、それぞれ良好な波面を形成するよう波長依存性を持たせ、かつ、この回折レンズ構造が、少なくとも半径方向の中間領域においては、所定のパワーを有するよう設定したことを特徴とする。

【0010】このような構成によれば、保護層の厚さが異なる2つのディスクに対し、保護層の厚さに対応させて波長を切り替えることにより、回折レンズ構造による同一次数の回折光を、それぞれの信号記録面に集光させて良好なスポットを形成することができる。また、回折レンズ構造によって生じる不要次数の回折光を、必要次数の回折光によるスポットに対して十分に拡散させることができ、再生信号におけるジッターの発生を抑えることができる。

【0011】上記の構成は、光路差関数を用いた別の表現で表すと、以下ようになる。すなわち、回折レンズ構造による光路長の付加量は、光軸からの高さh、n次(偶数次)の光路差関数係数P<sub>i</sub>、回折次数m、波長λを用いて、

$$\phi(h) = (P_1 h^1 + P_2 h^2 + P_3 h^3 + \dots) \times m \times \lambda$$

により定義される光路差関数 $\phi(h)$ により表わされる。この光路差関数 $\phi(h)$ の値が少なくとも半径方向の中間領域において極値を持たず、単調に変化するように設定

すれば、回折レンズ構造は中間領域において所定のレンズとしてのパワーを持つこととなる。

【0012】対物レンズ(屈折レンズ部分)の表面は、記録密度の低い光ディスクに必要な充分な低NAの光束が透過する共用領域と、この共用領域の周囲に位置し、記録密度の高い光ディスクに対してのみ必要な高NAの光束が透過する高NA専用領域とに区分することができる。回折レンズ構造は、共用領域にのみ形成されてもよいし、高NA専用領域をも含めて全域に形成されてもよい。

【0013】回折レンズ構造は、共用領域内に前記中間領域を含むことが望ましい。この場合、回折レンズ構造は、共用領域の全域において所定のパワーを有するように、すなわち、光路差関数 $\phi(h)$ の値が共用領域の全域において単調に変化するように設定してもよいし、中間領域の外側に、無パワーの領域、すなわち、光路差関数 $\phi(h)$ が極値をとる領域を有するように設定してもよい。なお、共用領域は、NA0.45~0.50の光束が透過するより内側の領域であり、中間領域は、NA0.20~0.38の光束が透過する領域として設定されることが望ましい。

【0014】さらに、回折レンズ構造は、入射光の波長が長波長側に变化した際に、球面収差が補正不足となる方向に変化する球面収差特性を有することが好ましい。前述のように、ディスク厚が厚くなると球面収差は補正過剰となる方向に変化する。そこで、上記のように回折レンズ構造に波長変化に対する球面収差変化特性を持たせれば、保護層の厚い光ディスクに対しては長波長の光束を用い、保護層の厚さの薄い光ディスクに対しては短波長の光束を用いることでディスク厚の違いによる球面収差の変化を打ち消すことができる。

【0015】回折レンズ構造は、保護層の厚い光ディスクに対応する波長でNA0.45相当の光線が回折レンズ構造の存在する面を通過する高さを $h_u$ として、以下の条件のいずれかを満たすことが望ましい。

$$P_1 \times (h_u)^{-1} \times m < 3 \quad \dots(1)$$

$$P_1 \times (h_u)^{-1} \times m > 8 \quad \dots(3)$$

【0016】また、上記の(1)を満たす場合には以下の条件(2)、(3)を満たす場合には以下の条件(4)を満たすことが望ましい。

$$\phi(h_u)/\lambda < -7 \quad \dots(2)$$

$$\phi(h_u)/\lambda > 8 \quad \dots(4)$$

【0017】なお、上記の条件(1)を満たす場合、回折レンズ構造は、半径方向の全域において、以下の(5)の条件を満たすことが望ましい。

$$\phi(h) \lambda < 0.5 \quad \dots(5)$$

【0018】

【発明の実施の形態】以下、この発明にかかる光ヘッド用対物レンズの実施形態を説明する。図1は、実施形態にかかる対物レンズ10を示す説明図であり、(A)は正面図、(B)は縦断面図、(C)は縦断面の一部拡大図である。この対物レンズ10は、DVD、CD、CD-R互

換装置の光情報記録再生装置の光ヘッドに適用され、光源である半導体レーザーから発したレーザー光をディスク等の媒体上に収束させる機能を有している。

【0019】対物レンズ10は、非球面である2つのレンズ面11、12を有する両凸の樹脂製単レンズであり、一方のレンズ面11に図1(A)に示したように光軸を中心とした輪帯状のパターンとして回折レンズ構造が形成されている。回折レンズ構造は、フレネルレンズのように各輪帯の境界に光軸方向の段差を持つ。

【0020】対物レンズ10の表面は、記録密度の低いCD、CD-R等の光ディスクに必要な充分な低NAの光束が透過する共用領域 $R_c$ と、この共用領域 $R_c$ の周囲に位置し、DVD等の記録密度の高い光ディスクに対してのみ必要な高NAの光束が透過する高NA専用領域 $R_h$ とに区分することができる。回折レンズ構造は、共用領域 $R_c$ にのみ形成されてもよいし、高NA専用領域 $R_h$ をも含めて全域に形成されてもよい。なお、共用領域は、NA0.45~0.50の光束が透過するより内側の領域であり、中間領域 $R_m$ は、NA0.20~0.38の光束が透過する領域として設定される。

【0021】図2はこの発明にかかる光ヘッド用対物レンズを使用した光ヘッドの光学系の説明図である。この光学系は、DVD用モジュール21、CD用モジュール22、ビームコンバイナ23、コリメートレンズ24、対物レンズ10で構成されている。各モジュール21、22は、半導体レーザーとセンサーとを一体化した素子である。

【0022】0.6mmの保護層を有する光ディスク(以下、「薄保護層型光ディスク」という)であるDVDを使用するためには、小さいビームスポットを作るために波長635~665nmの赤色光が必要とされ、1.2mmの保護層を有する光ディスク(以下、「厚保護層型光ディスク」という)のうち、少なくともCD-Rを使用するためには、その分光反射率の関係で波長780nm近傍の近赤外光が必要となる。そこで、DVD用モジュール21は、発振波長655nmまたは657nmの半導体レーザーを備え、CD用モジュール22は、発振波長785nmまたは787nmの半導体レーザーを備える。

【0023】薄保護層型光ディスク $D_1$ (図中実線で示す)の使用時には、DVDモジュール21を作動させる。DVDモジュール21の半導体レーザーから発した波長655nmまたは657nmのレーザー光は、図中実線で示したように薄保護層型光ディスク $D_1$ の情報記録面に集光する。他方、厚保護層型光ディスク $D_2$ (図中破線で示す)の使用時には、CDモジュール22を作動させる。CDモジュール21の半導体レーザーから発した波長785nmまたは787nmのレーザー光は、図中破線で示したように厚保護層型光ディスク $D_2$ の情報記録面に集光する。

【0024】対物レンズ10に形成された回折レンズ構造は、所定の次数の回折光、実施形態では1次回折光が、短波長(655nmまたは657nm)においては薄保護層型光ディスクD<sub>1</sub>に対して良好な波面を形成し、長波長(785nmまたは787nm)においては厚保護層型光ディスクD<sub>1</sub>に対して良好な波面を形成するよう波長依存性を有するよう設計されている。具体的には、入射光の波長が長波長側に变化した際に、球面収差が補正不足となる方向に変化する球面収差特性を有している。

【0025】光ディスク光学系の球面収差は、ディスク厚が厚くなるとより補正過剰となる方向に変化する。一方、薄保護層型ディスクD<sub>1</sub>については短波長、厚保護層型光ディスクD<sub>2</sub>については長波長のレーザー光が用いられる。

【0026】そこで、上記のように回折レンズ構造に波長が長波長に変化した場合に球面収差が補正不足となる方向に変化する特性を持たせることにより、ディスク厚により補正過剰となる球面収差を、回折レンズ構造の補正不足方向の球面収差を利用して打ち消すことができる。なお、夫々のディスクの信号記録面にレーザービームを集光させるためのフォーカシングは、対物レンズ10を光軸方向に移動させる焦点位置調節機構を用いて行う。

【0027】回折レンズ構造による光路長の付加量は、光軸からの高さh、n次(偶数次)の光路差関数係数P<sub>n</sub>、回折次数m、波長λを用いて、

$$\phi(h) = (P_1 h^1 + P_2 h^2 + P_3 h^3 + \dots) \times m \times \lambda$$
により定義される光路差関数φ(h)により表すことができる。光路差関数φ(h)は、回折面上での光軸からの高さhの点において、回折レンズ構造により回折されなかった場合の仮想的な光線と、回折レンズ構造により回折された光線との光路差を示す。この表現形式では2次の項の係数P<sub>1</sub>が負の時に近軸的に正のパワーを持ち、4次の項の係数P<sub>3</sub>が正の時に周辺に向かって負のパワーが漸増することとなる。

【0028】実際のレンズの微細形状は、φ(h)で表わされる光路長から波長の整数倍の成分を消去したフレネ

ルレンズ状の光路長付加量φ'を持つように決定する。

$$\phi'(h) = (\text{MOD}(P_1 h^1 + P_2 h^2 + P_3 h^3 + \dots + \text{Const}, 1) - \text{Const}) \times \lambda$$

λ<sub>i</sub>は微細段差が1波長分の光路長差を与える波長(ブレース化波長)であり、回折効率を最大にする波長になる。定数項Constは輪帯の境界位置の位相を設定する定数であり、0 ≤ Const < 1の範囲で任意の数をとる。MOD(X, Y)はXをYで割った剰余を与える関数である。MOD(P<sub>1</sub>h<sup>1</sup> + P<sub>2</sub>h<sup>2</sup> + P<sub>3</sub>h<sup>3</sup> + ... + Const, 1)の値が0になるhの点が輪帯の境になる。屈折レンズのレンズ面であるベース形状の上に、φ'(h)の光路差を持つように、勾配、段差を設定する。

【0029】ここで、実施形態の対物レンズ10は、回折レンズ構造が、少なくとも半径方向の中間領域R<sub>m</sub>においては、所定のパワーを有するよう設定されている。この構成は、光路差関数を用いた別の表現で表すと、光路差関数φ(h)の値が少なくとも半径方向の中間領域R<sub>m</sub>において極値を持たず、単調に変化するように設定されていることとなる。

【0030】このような構成によれば、回折レンズ構造によって生じる不要次数の回折光を、必要次数の回折光によるスポットに対して十分に拡散させることができ、再生信号におけるジッターの発生を抑えることができる。実施形態のように、複数の波長、例えば2つの波長で利用される対物レンズ10においては、回折レンズ構造のブレース化波長は少なくともいずれか一方の波長とは異なることとなるため、必要次数の回折効率を100%にすることはできず、不要次数の回折光が発生するのを避けることはできない。

【0031】以下の表1及び表2は、回折レンズ構造のブレース化波長と、特定のブレース化波長で作成された回折レンズ構造に対して、実際に使用される光源の波長を変化させた場合の回折効率との関係を示し、表1は使用次数である1次回折光の回折効率、表2は不要次数である0次、2次の回折効率を示している。

【0032】

【表1】

評価波長nm	回数 1					
	ブレース波長nm (1次回折光)					
	640	655	710	720	730	785
630	0.9992	0.9948	0.9481	0.9346	0.9198	0.8161
633	0.9996	0.9960	0.9523	0.9394	0.9251	0.8241
640	1.0000	0.9982	0.9613	0.9496	0.9366	0.8421
645	0.9998	0.9992	0.9670	0.9563	0.9442	0.8543
650	0.9992	0.9998	0.9723	0.9624	0.9512	0.8659
655	0.9983	1.0000	0.9770	0.9680	0.9576	0.8770
660	0.9970	0.9998	0.9813	0.9731	0.9635	0.8874
700	0.9761	0.9865	0.9993	0.9973	0.9940	0.9524
710	0.9684	0.9804	1.0000	0.9993	0.9974	0.9638
720	0.9600	0.9735	0.9994	1.0000	0.9994	0.9735

9						
730	0.9510	0.9657	0.9975	0.9994	1.0000	0.9815
740	0.9413	0.9573	0.9946	0.9976	0.9994	0.9879
770	0.9097	0.9287	0.9802	0.9862	0.9912	0.9988
775	0.9041	0.9236	0.9771	0.9835	0.9890	0.9995
780	0.8984	0.9183	0.9738	0.9807	0.9866	0.9999
785	0.8927	0.9130	0.9703	0.9776	0.9839	1.0000
790	0.8869	0.9075	0.9667	0.9744	0.9812	0.9999
795	0.8810	0.9020	0.9629	0.9711	0.9782	0.9995
800	0.8751	0.8965	0.9590	0.9675	0.9751	0.9988

【0033】

10 【表2】

評価波長nm	回数 0			回数 2		
	655	720	785	655	720	785
630	0.0014	0.0146	0.0318	0.0017	0.0260	0.0869
633	0.0011	0.0137	0.0309	0.0013	0.0239	0.0823
640	0.0005	0.0117	0.0287	0.0006	0.0194	0.0723
645	0.0002	0.0104	0.0272	0.0002	0.0166	0.0657
650	0.0001	0.0091	0.0256	0.0001	0.0140	0.0595
655	0.0000	0.0079	0.0241	0.0000	0.0117	0.0538
660	0.0001	0.0068	0.0225	0.0001	0.0097	0.0484
700	0.0047	0.0008	0.0112	0.0036	0.0009	0.0182
710	0.0069	0.0002	0.0088	0.0051	0.0002	0.0134
720	0.0096	0.0000	0.0067	0.0067	0.0000	0.0096
730	0.0127	0.0002	0.0048	0.0084	0.0002	0.0065
740	0.0161	0.0008	0.0032	0.0102	0.0007	0.0041
770	0.0286	0.0048	0.0004	0.0157	0.0037	0.0004
775	0.0310	0.0057	0.0002	0.0166	0.0043	0.0002
780	0.0334	0.0068	0.0000	0.0175	0.0050	0.0000
785	0.0360	0.0080	0.0000	0.0184	0.0057	0.0000
790	0.0386	0.0092	0.0000	0.0193	0.0065	0.0000
795	0.0412	0.0105	0.0002	0.0202	0.0072	0.0002
800	0.0439	0.0119	0.0004	0.0211	0.0080	0.0003

【0034】上記の表2によれば、ブレイズ化波長を720nmとすると、0次回折光、2次回折光の割合は、短波長655nmでは、それぞれ約0.8%と1.2%、長波長785nmでは、それぞれ約0.8%と0.6%である。ここで、不要時数の回折光が光ディスクの記録面上で十分に拡散されていれば、記録面の広い領域の記録情報を同時に読み取ることとなるため、反射光量は平均化されてほぼ一定となり、その一部が受光センサに戻ったとしても、再生信号に与える影響は少ない。これに対し、不要次数の回折光が光ディスクの記録面上で十分に拡散されていない場合には、記録面の狭い領域の記録信号を読み取ることとなるため、反射光量に変化し、これが受光センサに戻ることににより、再生信号に分離不能なノイズ(ジッター)を与える。ジッターが規定のレベル以上となると、光ヘッドは記録信号を正確に再生することができなくなるため、回折レンズ構造は、不要次数の回折光を十分に拡散させる必要がある。

【0035】不要次数の回折光を拡散させるためには、

回折レンズ構造が、半径方向の全領域、あるいは少なくともレンズ半径方向の中間領域  $R_m$  内の全ての点において、レンズとしてのパワーを持てばよい。回折レンズのパワーは、回折次数によって異なるため、回折レンズパワーが存在すれば、各回折次数の光束の収束度を異ならせることができ、これにより、不要次数の回折光を拡散させることができる。回折レンズ構造が中間領域  $R_m$  でパワーを持たない場合には、中間領域  $R_m$  を通る各次数の光束の収束度が同一となるため、この部分を通る光束が同一の位置に収束し、ジッターの原因となる。

【0036】なお、対物レンズ10の中央部は面積が狭いため、回折レンズ構造がパワーを持たなくとも不要次数回折光の影響は小さい。また、共用領域内の周辺部では、球面収差の回折次数による変化が大きくなるため、回折レンズ構造がパワーを持たない部分があったとしても、球面収差によって不要次数の回折光は拡散する。したがって、特に中間領域R<sub>m</sub>においてパワーを有することが重要となる。

【0037】回折レンズ構造は、保護層の厚い光ディスクに対応する波長でNA0.45相当の光線が回折レンズ構造の存在する面を通過する高さを $h_m$ として、以下の条件のいずれかを満たすことが望ましい。

$$P_1 \times (h_m)^{-1} \times m < 3 \quad \dots(1)$$

$$P_1 \times (h_m)^{-1} \times m > 8 \quad \dots(3)$$

【0038】さらに、上記の(1)を満たす場合には以下の条件(2)を満たし、(3)を満たす場合には以下の条件(4)を満たすことが望ましい。

$$\phi(h_m)/\lambda < -7 \quad \dots(2)$$

$$\phi(h_m)/\lambda > 8 \quad \dots(4)$$

【0039】回折レンズ構造が上述したような波長が長くなるほど補正不足となるような球面収差特性を有する場合、回折レンズ構造を規定する光路差関数 $\phi(h)$ の4次の係数 $P_4$ は負の値を持つこととなる。球面収差特性を実現するためには、このように係数 $P_4$ が負の値を持てば足り、2次の係数 $P_2$ の値は問われない。

【0040】また、係数 $P_4$ が負の値を持つ場合、係数 $P_2$ を正の値に設定すれば、光路差関数 $\phi(h)$ の変化の幅を小さくすることができる。光路差関数 $\phi(h)$ の変化の幅が小さければ、段差の数を減らすことができ、加工を容易にすると共に、回折効率を高く保つことができる。

【0041】すなわち、回折レンズ構造の実形状は、光路差関数の値が波長の整数倍となる位置で光軸方向に波長分の段差を有し、全体として複数の同心円状の輪帯から成るフレネルレンズ状の形状となる。実施形態のように屈折レンズの非球面上にフレネルレンズ状の回折レンズ構造を形成する場合にはリソグラフィの手法を用いることは困難であるため、精密旋盤を用いてバイトで回折レンズ構造のパターンを含む型を作成し、モールドによりパターンを転写する手法が採られる。ただし、バイトによる切削加工には精度上の限界があり、輪帯の切り替わりとなる段差のコーナー部には数 $\mu m$ の幅で形状誤差が必ず発生し、これが回折効率を低下させる。したがって、回折効率を高く維持するためには、段差の数は少ないほど望ましい。

【0042】しかしながら、 $P_2$ が正の値をとる場合、光路差関数 $\phi(h)$ は正の極大値をもつこととなる。この極大値をとる高さ $h$ が中間領域 $R_m$ に入ると、前述のように不要次数の回折光が拡散せずにジッターの原因となるため、 $P_2$ の範囲は極大値をとる際の高さ $h$ が中間領域 $R_m$ に含まれないよう定める必要がある。これを定めたのが、上記の条件(1)(3)である。条件(1)を満たす場合、 $P_2 \leq 0$ であれば、光路差関数 $\phi(h)$ は全域で単調に変化し、極大値を持たない。また、 $P_2 > 0$ であっても、条件(1)を満たせば、極大値をとる高さ $h$ は中間領域 $R_m$ より内側となる。他方、条件(3)を満たす場合には、光路差関数 $\phi(h)$ が極大値をとる高さ $h$ は中間領域 $R_m$ より外側となり、あるいは、全域で単調に変化す

る。

【0043】また、条件(2)(4)は、共用領域内の周辺部で光路差関数 $\phi(h)$ が満たすべき値の範囲を示している。条件(1)を満たす場合には、光路差関数 $\phi(h)$ は共用領域内では $h$ が大きくなるにしたがって漸減する(負の絶対値が大きくなる)。したがって、この場合に条件(2)を満たすことにより、光路差関数 $\phi(h)$ の負の方向への傾きが大きくなり、光路差関数 $\phi(h)$ が極大値を持つ場合にも、これが中間領域 $R_m$ に入るのを確実に防ぐことができる。他方、条件(3)を満たす場合には、光路差関数 $\phi(h)$ は共用領域内では $h$ が大きくなるほど漸増する。したがって、この場合に条件(4)を満たすことにより、光路差関数 $\phi(h)$ の正の方向への傾きが大きくなり、光路差関数 $\phi(h)$ が共用領域内で極大値をもつのを防ぐことができる。

【0044】なお、極大値が中間領域 $R_m$ 外に位置したとしても、極大値が1波長より大きくなると、その部分の輪帯が内外の輪帯に対して窪んだ形状となり、輪帯の外側の段差面は中心側を向き、内側の段差面は外周側を向くこととなる。このような輪帯形状を形成するためには、型には周囲の輪帯に対応する部分から突出した形状が必要となり、加工が困難となる。したがって、このような窪み部分が発生しないように、回折レンズ構造は、半径方向の全域において、以下の(5)の条件を満たすことが望ましい。

$$\phi(h) \lambda < 0.5 \quad \dots(5)$$

【0045】輪帯の段差は、屈折レンズの表面を基準として、光路差関数 $\phi(h)$ の値が $0.5\lambda$ となる位置で、 $-0.5\lambda$ となる深さまで段差を形成する。したがって、極大値が $0.5\lambda$ より小さければ、回折レンズ構造の各輪帯間における光軸方向の段差面を、全てレンズの中心側若しくは周辺側のいずれか一方に向けることができ、上記のような窪み部分を発生させずに回折レンズ構造を形成することができる。

【0046】

【実施例】次に、上述した実施形態に基づく具体的な実施例を3例提示する。いずれも保護層の厚さが $0.6\text{ mm}$ のディスクを利用するDVDと、保護層の厚さが $1.2\text{ mm}$ のディスクを利用するCD、CD-Rとに兼用される光ヘッド用の対物レンズである。なお、いずれの実施例においても、回折レンズ構造は対物レンズ10の第1面11に形成されており、1次回折光を必要次数の回折光として光ディスクの記録面上に収束させる。

【0047】

【実施例1】図3(A)は、実施例1にかかる対物レンズ10と薄保護層型光ディスク $D_1$ とを示し、図3(B)は実施例1の対物レンズ10と厚保護層型光ディスク $D_2$ とを示す。実施例1の対物レンズ10は、 $0 \leq h < 1.66$ となる共用領域内のみフレネルレンズ状の回折レンズ構造が形成され、 $1.66 \leq h$ となる高NA専用領域は、段差のな



い連続的な非球面として形成されている。また、共用領域のベースカーブ(回折レンズ構造を除く屈折レンズとしての形状)と、高NA専用領域とは、別個の係数で定義される独立した非球面である。

【0048】実施例1の具体的な数値構成は表3に示されている。面番号1、2が対物レンズ10、面番号3、4が媒体であるディスクの保護層を示している。表中、NAは開口数、fは全体の焦点距離(単位:mm)、 $\lambda_1$ は薄保護層型光ディスクD<sub>1</sub>使用時の波長(単位:nm)、 $\lambda_2$ は厚保護層型光ディスクD<sub>2</sub>使用時の波長(単位:nm)、h<sub>1</sub>は回折レンズ構造の存在する面でのNA0.45に相当する光線の通過高さ(単位:mm)、 $\lambda_1$ は回折レンズ構造のブレース化波長、rはレンズ各面の巨視的な近軸曲率半径(単位:mm)、d1は薄保護層型光ディスクD<sub>1</sub>使用時のレンズ厚またはレンズ間隔(単位:mm)、d2は厚保護層型光ディスクD<sub>2</sub>使用時のレンズ厚またはレンズ間隔(単位:mm)、n<sub>λ</sub>は各レンズの波長λnmでの屈折率である。

【0049】また、対物レンズ10の第1面11のベースカーブおよび第2面12は非球面であり、その形状は光軸からの高さがhとなる非球面上の座標点の非球面の光軸上での接平面からの距離(サグ量)をX(h)、非球面の光軸上での曲率(1/r)をC、円錐係数をK、4次、6次、8次、10次、12次の非球面係数をA<sub>4</sub>、A<sub>6</sub>、A<sub>8</sub>、A<sub>10</sub>、A<sub>12</sub>として、以下の式で表される。

#### 第1面

共用領域(0≤h<1.66) 高NA専用領域(1.66≤h)

r	2.122	2.115
κ	-0.440	-0.441
A4	-2.539×10 <sup>-4</sup>	-4.380×10 <sup>-4</sup>
A6	-4.110×10 <sup>-4</sup>	-1.840×10 <sup>-4</sup>
A8	-1.293×10 <sup>-4</sup>	-9.530×10 <sup>-5</sup>
A10	1.407×10 <sup>-4</sup>	1.550×10 <sup>-4</sup>
A12	-4.540×10 <sup>-4</sup>	-5.290×10 <sup>-4</sup>

$$\Delta = -0.0254$$

#### 第2面

κ	0.000
A4	1.822×10 <sup>-4</sup>
A6	-6.770×10 <sup>-4</sup>
A8	1.628×10 <sup>-3</sup>
A10	-2.610×10 <sup>-4</sup>
A12	1.860×10 <sup>-4</sup>

【0053】

【表5】

共用領域(0≤h<1.66)

P2	-1.4800
P4	-1.7710
P6	-1.6420×10 <sup>-1</sup>
P8	0.0000

【0054】

$$X(h) = Ch^1 / (1 + \sqrt{1 - (1+K)C^2 h^2}) + A_4 h^4 + A_6 h^6 + A_8 h^8 + A_{10} h^{10} + A_{12} h^{12}$$

【0050】なお、表3における非球面の曲率半径は光軸上の曲率半径である。非球面を規定する円錐係数と非球面係数は表4、そして回折レンズ構造を規定する光路差関数係数は表5に示される。表4の記号Δは、高NA専用領域を規定する非球面を光軸上まで延長した際に、共用領域のベースカーブを規定する非球面との間でなす光軸上の距離(mm)であり、符号は負の場合には、共用領域のベースカーブを基準として、高NA専用領域の面が光の入射側に位置することを示す。

【0051】

【表3】

$$\lambda_1 = 655 \text{ nm} \quad \text{NA} \ 0.60 \quad f = 3.330 \text{ mm} \quad h_s = 1.507 \text{ mm}$$

$$\lambda_2 = 785 \text{ nm} \quad \text{NA} \ 0.50 \quad f = 3.349 \text{ mm}$$

$$\lambda_s = 720 \text{ nm}$$

面番号	r	d1	d2	n655	n785
1	2.122	2.190	2.190	1.54063	1.53665
2	-7.872	1.735	1.368		
3	∞	0.600	1.200		
4	∞				

【0052】

【表4】

【実施例2】次に、実施例2の対物レンズについて説明する。実施例2の対物レンズは、0≤h<1.69となる共用領域内にのみフレネルレンズ状の回折レンズ構造が形成され、1.69≤hとなる高NA専用領域は、段差のない連続的な非球面として形成されている。また、共用領域のベースカーブ(回折レンズ構造を除く屈折レンズとしての形状)と、高NA専用領域とは、別個の係数で定義される独立した非球面である。レンズ形状は実施例1と同様で



あるため、図示は省略する。実施例2にかかる対物レンズの基本構成を表6、非球面係数を表7、光路差関数係数を表8に示す。

【0055】

【表6】

$\lambda_1=655\text{nm}$  NA 0.60  $f=3.330\text{mm}$   $h_4=1.521\text{mm}$

$\lambda_2=785\text{nm}$  NA 0.50  $f=3.380\text{mm}$

$\lambda_3=720\text{nm}$

面番号	r	d1	d2	n655	n785
1	2.034	2.190	2.190	1.54063	1.53665
2	-7.273	1.754	1.422		
3	$\infty$	0.600	1.200		
4	$\infty$				

【0056】

【表7】

第1面

共用領域( $0 \leq h < 1.69$ ) 高NA専用領域( $1.69 \leq h$ )

r	2.034	2.134
$\kappa$	-0.440	-0.441
A4	$-3.351 \times 10^{-3}$	$-8.200 \times 10^{-4}$
A6	$-4.403 \times 10^{-4}$	$-1.350 \times 10^{-4}$
A8	$-1.557 \times 10^{-4}$	$-1.340 \times 10^{-4}$
A10	$3.942 \times 10^{-5}$	$4.910 \times 10^{-5}$
A12	$-9.537 \times 10^{-6}$	$-1.060 \times 10^{-5}$

$\Delta = 0.0158$

第2面

$\kappa$  0.000

A4	$1.696 \times 10^{-2}$
A6	$-5.294 \times 10^{-3}$
A8	$1.529 \times 10^{-3}$
A10	$-3.852 \times 10^{-4}$
A12	$4.009 \times 10^{-5}$

【0057】

【表8】

共用領域( $0 \leq h < 1.69$ )

P2 1.0000×10

P4 -1.4890

P6  $-1.4380 \times 10^{-1}$

P8 0.0000

【0058】

【実施例3】次に、実施例3の対物レンズについて説明する。実施例3の対物レンズは、共用領域、及び高NA専用領域にわたって共通のベースカーブ上に回折レンズ構造が形成されている。レンズ形状は実施例1と同様であ

るため、図示は省略する。実施例3にかかる対物レンズの基本構成を表9、非球面係数を表10、光路差関数係数を表11に示す。

【0059】

【表9】

$\lambda_1=657\text{nm}$  NA 0.60  $f=3.447\text{mm}$   $h_4=1.563\text{mm}$

$\lambda_2=787\text{nm}$  NA 0.46  $f=3.474\text{mm}$

$\lambda_3=720\text{nm}$

面番号	r	d1	d2	n657	n787
1	2.162	2.400	2.400	1.54056	1.53660
2	-7.999	1.732	1.373		
3	$\infty$	0.600	1.200		
4	$\infty$				

【0060】

【表10】

第1面

$\kappa$	-0.440
A4	$-2.655 \times 10^{-3}$
A6	$-2.351 \times 10^{-4}$
A8	$-8.099 \times 10^{-5}$
A10	$1.595 \times 10^{-5}$
A12	$-4.538 \times 10^{-6}$

第2面

$\kappa$	0.000
A4	$1.527 \times 10^{-2}$
A6	$-2.743 \times 10^{-3}$
A8	$7.932 \times 10^{-5}$
A10	$2.556 \times 10^{-5}$
A12	0.000

30 【0061】

【表11】

P2 1.0000

P4 -1.4732

P6  $-1.3082 \times 10^{-1}$

P8 0.0000

【0062】以下の表12は、上述した実施例1～3における光路差関数 $\phi(h)$ の値を示す。また、図4は、表12の光路差関数を表すグラフである。これらの表、図に基づいて各実施例の効果について説明する。

40 【0063】

【表12】

実施例1			実施例2		実施例3	
NA	h	$\phi(h)$	h	$\phi(h)$	h	$\phi(h)$
0.50	1.675	-21.70	1.690	13.07	1.737	-13.99
0.45	1.507	-14.42	1.521	13.39	1.563	-8.26
0.40	1.340	-9.31	1.352	12.43	1.390	-4.50

0.35	1.172	-5.80	1.183	10.68	1.216	-2.16
0.30	1.005	-3.47	1.014	8.55	1.042	-0.82
0.25	0.837	-1.96	0.845	6.33	0.869	-0.14
0.20	0.670	-1.04	0.676	4.25	0.695	0.12
0.15	0.502	-0.49	0.507	2.47	0.521	0.16
0.10	0.335	-0.19	0.338	1.12	0.347	0.10
0.05	0.167	-0.04	0.169	0.28	0.174	0.03
0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00

【0064】実施例1では、 $P_1 \times (h_u)^{-1} \times m = -3.36$ 、 $\phi(h_u)/\lambda = -14.32$ であり、共に前述の条件(1)(3)を満たしている。係数P2とP4とが共に負の値となるため、光路差関数は図4に示すように極大値を持たず、共用領域内で単調に減少する。この場合、光路差関数の変化の幅は広くなるため、段差の数は比較的大きくなるが、極大値を持たないことから、全ての領域において各次数の光束に対するパワーが異なり、使用次数である1次回折光のスポットに対し、不要次数である0次、2次回折光は十分に拡散される。したがって、ジッターの発生を極めて低く抑えることができる。

【0065】不要次数の回折光は、薄保護層型光ディスクD<sub>1</sub>を利用する際には2次、厚保護層型光ディスクD<sub>2</sub>を利用する際には0次の光量が大きくなる。そこで、実施例1の対物レンズにより厚保護層型光ディスクD<sub>2</sub>を読み取る際の0次回折光の広がりを図5にスポットダイヤグラムで示す。図5(A)は図中の破線で示される各座標軸のスケールが0.1mm、図5(B)はその10倍、すなわち座標軸のスケールが0.01mmの場合を示している。これらの図から理解できるように、実施例1の対物レンズを利用した場合には、不要回折光を十分に広い領域に拡散させることができる。

【0066】なお、実施例1の対物レンズは、回折レンズのパワーにより、薄保護層型光ディスクD<sub>1</sub>を利用する際と厚保護層型光ディスクD<sub>2</sub>を利用する際とで1次回折光の集光位置が光軸方向で異なる。このため、薄保護層型光ディスクD<sub>1</sub>を利用時には、共用領域R<sub>c</sub>及び高NA専用領域R<sub>h</sub>に入射した光束が共に一点に集光するが、薄保護層型光ディスクD<sub>1</sub>を利用する際には、高NA専用領域R<sub>h</sub>に入射した光束は共用領域R<sub>c</sub>に入射した光束の集光点には集光しない。したがって、記録密度の低い厚保護層型光ディスクD<sub>2</sub>を利用する際にも、光束が過度に収束されることがなく、高NA専用領域に入射する光束を遮断する必要がない。

【0067】実施例2では、 $P_1 \times (h_u)^{-1} \times m = 23.12$ 、 $\phi(h_u)/\lambda = 13.39$ であり、共に前述の条件(2)(4)を満たしている。係数P2とP4とが逆符号であるため、共用領域内で極大値を持つが、P2が比較的大きい値を持つため、極大値をとる位置は、図4に示されるようにNA0.45付近であり、NA0.20~0.38の光束が透過する中間領域R<sub>m</sub>より外側となる。したがって、ジッターの発生に最も影響を与える中間領域R<sub>m</sub>を通る

光束については、その集光位置が次数毎に光軸方向に異なることとなり、全体としてみると、使用次数である1次回折光のスポットに対し、不要次数である0次、2次回折光は十分に拡散される。したがって、ジッターの発生を低く抑えることができる。

【0068】実施例2の対物レンズにより厚保護層型光ディスクD<sub>2</sub>を読み取る際の0次回折光の広がりを図6にスポットダイヤグラムで示す。図6(A)は図中の破線で示される各座標軸のスケールが0.1mm、図6(B)はその10倍、すなわち座標軸のスケールが0.01mmの場合を示している。これらの図から理解できるように、実施例2の対物レンズを利用した場合には、実施例1の場合ほどではないが、不要回折光を広い領域に拡散させることができる。

【0069】実施例3では、 $P_1 \times (h_u)^{-1} \times m = 2.44$ 、 $\phi(h_u)/\lambda = -8.26$ であり、共に前述の条件(1)(3)を満たしている。係数P2とP4とが逆符号であるため、共用領域内で極大値を持つが、P2が比較的小さい値を持つため、極大値をとる位置は、図4に示されるようにNA0.15付近であり、NA0.20~0.38の光束が透過する中間領域R<sub>m</sub>より内側となる。したがって、ジッターの発生に最も影響を与える中間領域R<sub>m</sub>を通る光束については、その集光位置が次数毎に異なることとなり、全体としてみると、使用次数である1次回折光のスポットに対し、不要次数である0次、2次回折光は拡散される。したがって、ジッターの発生を実用可能な程度に抑えることができる。また、実施例3の構成では、光路差関数が極大値を持つものの、半径方向の全域において条件(5)を満たすため、周囲に対して窪んだ輪帯を形成する必要がなく、型の作成が容易である。

【0070】実施例3の対物レンズにより厚保護層型光ディスクD<sub>2</sub>を読み取る際の0次回折光の広がりを図7にスポットダイヤグラムで示す。図7(A)は図中の破線で示される各座標軸のスケールが0.1mm、図7(B)はその10倍、すなわち座標軸のスケールが0.01mmの場合を示している。これらの図から理解できるように、実施例3の対物レンズを利用した場合には、実施例1の場合ほどではないが、不要回折光を実用上信号の読み取りが可能な程度に拡散させることができる。

【0071】なお、実施例2、3の対物レンズは、薄保護層型光ディスクD<sub>1</sub>を利用する際と厚保護層型光ディスクD<sub>2</sub>を利用する際とで1次回折光の集光位置がほぼ

一致する。このため、記録密度の低い厚保護層型光ディスクD<sub>1</sub>を利用する際には、光束が過度に収束されないよう、高NA専用領域に入射する光束を減衰させる必要がある。光量の減衰には、波長選択性のフィルター等を用いることができる。

#### 【0072】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、保護層の厚さの違いに起因する球面収差の変化を、回折レンズ構造の球面収差の変化により打ち消すことができ、光利用効率の高い光ヘッド用の対物レンズを単一のレンズで提供することができる。したがって、この発明をDVD、CD-R互換系に適用した場合には、対物レンズ周りの可動部分を少なくでき装置のコンパクト化、高速化が図れる。

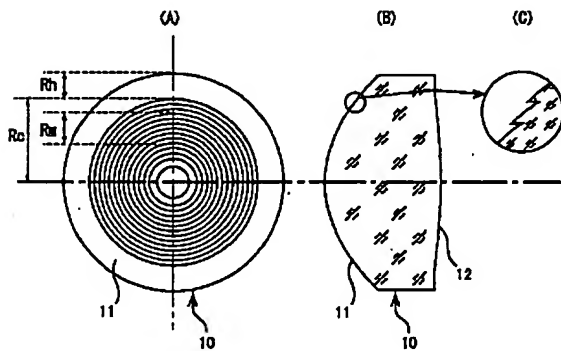
【0073】また、回折レンズ構造によって生じる不要次数の回折光を、必要次数の回折光によるスポットに対して十分に拡散させることができ、再生信号におけるジッターの発生を抑えることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

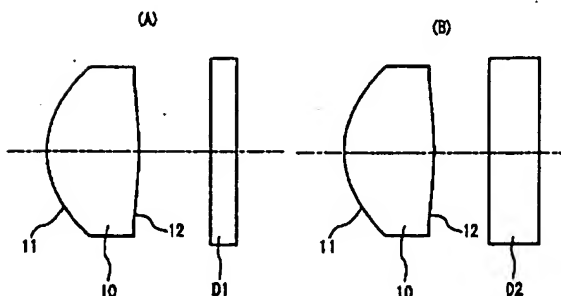
【図1】 実施形態にかかる対物レンズの外形を示す説明図であり、(A)は正面図、(B)は縦断面図、(C)は縦断面の一部拡大図である。

【図2】 実施形態にかかる対物レンズを使用した光ピックアップ装置の光学系の説明図である。

【図1】



【図3】



【図3】 (A)は実施例1の対物レンズと薄保護層型光ディスクとを示すレンズ図、(B)は実施例1の対物レンズと厚保護層型光ディスクとを示すレンズ図である。

【図4】 各実施例の対物レンズのNAと光路差関数との関係を示すグラフである。

【図5】 実施例1の対物レンズにより厚保護層型光ディスクを再生した際の0次回折光の広がりを示すスポットダイアグラムである。

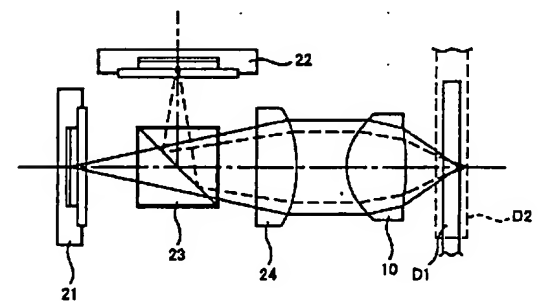
【図6】 実施例2の対物レンズにより厚保護層型光ディスクを再生した際の0次回折光の広がりを示すスポットダイアグラムである。

【図7】 実施例3の対物レンズにより厚保護層型光ディスクを再生した際の0次回折光の広がりを示すスポットダイアグラムである。

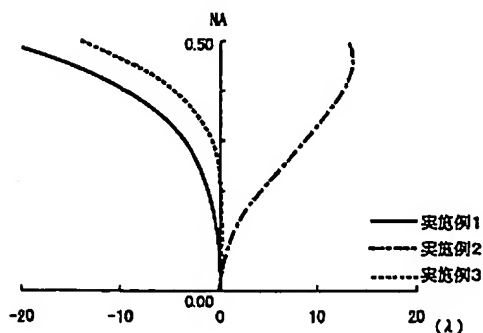
#### 【符号の説明】

- 10 対物レンズ
- 11 第1面
- 12 第2面
- D<sub>1</sub> 薄保護層型光ディスク
- D<sub>2</sub> 厚保護層型光ディスク
- 21 DVD用モジュール
- 22 CD用モジュール
- 23 ビームコンバイナ
- 24 コリメートレンズ

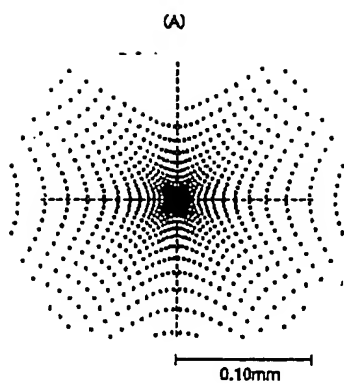
【図2】



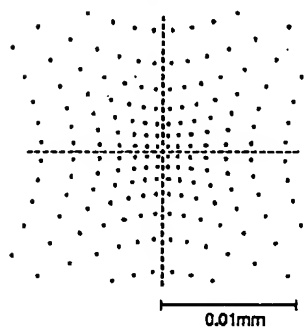
【図4】



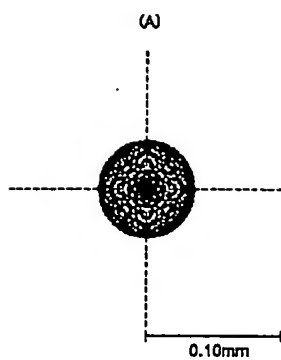
【図 5】



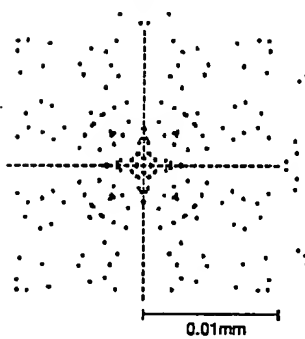
(B)



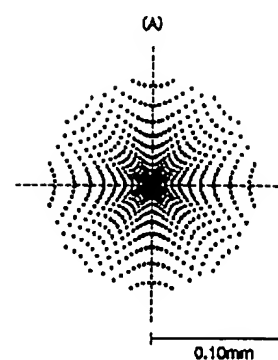
【図 6】



(B)



【図 7】



(B)

